

Sistem Kontrol Keseimbangan Statis Robot *Humanoid* Joko Klana Berbasis Pengontrol PID

Pramudita Johan Iswara ^{*1}, Agfianto Eko Putra ²

¹Prodi Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM

²Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM

e-mail: ^{*1}pramuditajohan@yahoo.co.id, ^{*2}agfi@ugm.ac.id

Abstrak

Pengontrol Proporsional – Integral - Derivatif merupakan kontrol loop umpan balik umum yang digunakan secara luas dalam sistem kontrol industri. Pengontrol PID menghitung nilai eror sebagai perbedaan antara variabel proses terukur dan nilai yang diinginkan. Pengontrol akan mengurangi eror dengan mengatur masukan kontrol proses.

Subsistem yang telah dibuat yaitu sistem kontrol keseimbangan robot humanoid Joko Klana berbasis Pengontrol PID sederhana menggunakan akselerometer ADXL202 sebagai masukan. ADXL202 akan membaca kemiringan pada sumbu X (depan – belakang) robot Joko Klana dan sumbu Y (kanan – kiri) terhadap sumbu referensi X dan Y. Nilai eror dari kemiringan kemudian digunakan sebagai input pada proses kontrol keseimbangan. Keluarannya berupa posisi angular dari beberapa motor servo pada sendi kaki Joko Klana untuk memperoleh posisi paling stabil.

Pengontrol PID mempunyai 3 komponen penting untuk melakukan proses kontrol. Komponennya terdiri dari Kp (propotional gain), Ki (integral gain), dan Kd (derivative gain). Nilai optimal untuk komponen tersebut dari eksperimen ini yaitu : $Kp_x = 10$, $Ki_x = 1$, $Kd_x = 10$, $Kp_y = 3$, $Ki_y = 1$, $Kd_y = 10$, dan Time Sampling = 300mS.

Kata kunci—*Pengontrol PID, Sistem Kontrol Keseimbangan, Robot Joko Klana, Akselerometer 202*

Abstract

A Proportional – Integral – Derivative Controller (PID Controller) is a generic control loop feedback mechanism widely used in industrial control systems. A PID Controller calculates an "Error" value as the difference between a measured process variable and a desired set point. The Controller attempts to minimize the Error by adjusting the process control inputs.

The subsystem that have been made is the Joko Klana humanoid robot's balance control system by applying a simple PID Controller using an ADXL202 accelerometer as an input device. ADXL202 will read the Joko Klana robot's slope on the X axis (front - rear) and the Y axis (right – left) to the referenced X and Y axes. The error value of the slope then will be used as input to the balance control process. The outputs is the angular position of some servo motors in the Joko Klana's leg joints to acquire the most stable position.

PID Controller has three main components to do the control process. The components are : Kp (proportional gain), Ki (integral gain), and Kd (derivative gain). The optimal value for those components from this experiments are : $Kp_x = 10$, $Ki_x = 1$, $Kd_x = 10$, $Kp_y = 3$, $Ki_y = 1$, $Kd_y = 10$, and Time Sampling = 300mS.

Keywords—*PID Controller, Balance Control System, Joko Klana Robot, ADXL202 Accelerometer*

1. PENDAHULUAN

Robot *humanoid* adalah robot yang termasuk dalam kategori robot berkaki yang memiliki bentuk struktural menyerupai manusia. robot ini memiliki penampilan keseluruhan yang didasarkan pada bentuk tubuh manusia, yaitu : memiliki dua buah kaki, dua buah tangan, badan, dan kepala [1].

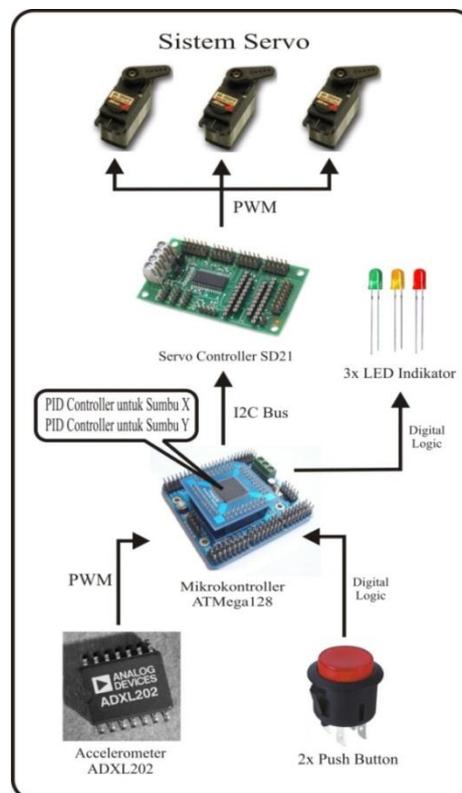
Salah satu faktor yang sangat penting dan memerlukan perhatian lebih dalam membangun sebuah robot *humanoid* adalah faktor keseimbangan atau *balance* dari robot *humanoid* tersebut [2]. Karena tugas utama dari sebuah robot *humanoid* adalah menirukan gerakan alami yang dilakukan oleh manusia, seperti : berjalan maju, berjalan ke samping, berbelok, melambaikan tangan, hingga menari. Tanpa memiliki keseimbangan yang baik, robot *humanoid* akan kesulitan untuk melakukan gerakan – gerakan tersebut karena robot *humanoid* tersebut akan mudah sekali terjatuh [3].

Maka dari itu perlu dibuat suatu sistem yang dapat mengontrol keseimbangan dari robot *humanoid* tersebut sehingga robot tersebut menjadi lebih seimbang dan mampu meminimalisir gangguan dari luar. Parameter yang akan digunakan untuk sistem kontrol keseimbangan tersebut adalah posisi kemiringan dari badan robot terhadap sumbu X dan sumbu Y referensi.

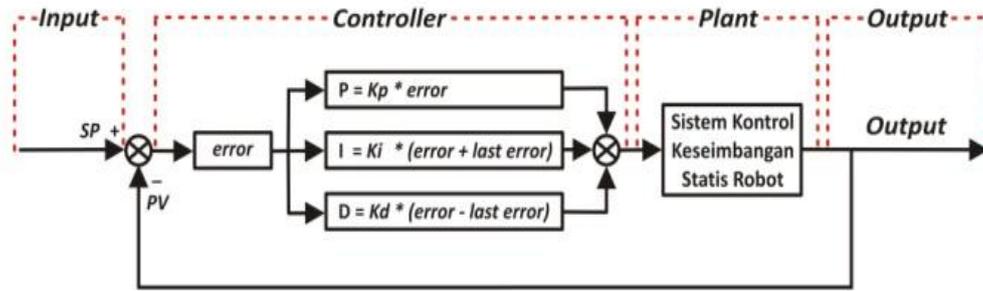
2. METODE PENELITIAN

2.1. Analisis Sistem

Sistem ini diharapkan mampu menjaga dan mempertahankan keseimbangan dari robot *humanoid* sehingga robot *humanoid* tersebut mampu melaksanakan tugasnya dengan baik. Arsitektur dari sistem pengendali robot *humanoid* ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Arsitektur Sistem



Gambar 3. Diagram Blok Pengontrol PID

Blok diagram kendali robot humanoid ditunjukkan pada Gambar 3. Sensor akselerometer *ADXL202* akan membaca nilai kemiringan pada sumbu X dan sumbu Y dari robot dan mengirimkannya ke mikrokontroler. Apabila terdapat selisih (*error*) antara nilai kemiringan yang terbaca dengan nilai referensi yang telah ditetapkan sebelumnya, maka mikrokontroler akan menganggap bahwa keseimbangan robot terganggu. Selisih nilai kemiringan tersebut kemudian akan diolah dengan pengontrol PID untuk menentukan posisi sudut servo tertentu pada sistem kaki robot untuk mengembalikan robot ke posisi yang paling stabil. Persamaan diskrit yang digunakan dalam Pengontrol PID ditunjukkan pada persamaan (1) :

$$u(k) = K_p \cdot e_k + K_I \cdot T \sum_0^k e_k + \frac{1}{T} K_D (e_k - e_{k-1}) \quad (1)$$

Nilai *error* didapatkan dengan menghitung selisih antara nilai set poin dan nilai yang terbaca oleh sensor [4]. Rumus yang digunakan seperti pada persamaan (2).

$$Error = SP - PV \quad (2)$$

$$SP = \text{Set Point}$$

$$PV = \text{Process Variable}$$

Persamaan pengontrol PID diskrit (persamaan (1)) kemudian diterjemahkan pada program menjadi :

- Pengontrol PID pada sumbu X ditunjukkan pada persamaan (3) dan (4) :

$$X_o = Kp_x e_x + Ki_x (e_x + last_e_x) + Kd_x (e_x - last_e_x) \quad (3)$$

$$Posisi_Servo_x = Posisi_Servo_x + X_o \quad (4)$$

- Pengontrol PID pada sumbu Y ditunjukkan pada persamaan (5) dan (6) :

$$Y_o = Kp_y e_y + Ki_y (e_y + last_e_y) + Kd_y (e_y - last_e_y) \quad (5)$$

$$Posisi_Servo_y = Posisi_Servo_y + Y_o \quad (6)$$

Dengan :

- X_o = Nilai posisi servo pada sumbu X
- Y_o = Nilai posisi servo pada sumbu Y
- Kp_x = Nilai Kp untuk sumbu X
- Kp_y = Nilai Kp untuk sumbu Y

- Ki_x = Nilai Ki untuk sumbu X
- Ki_y = Nilai Ki untuk sumbu Y
- Kd_x = Nilai Kd untuk sumbu X
- Kd_y = Nilai Kd untuk sumbu Y
- e_x = Nilai *error* untuk sumbu X
- e_y = Nilai *error* untuk sumbu Y
- $last_e_x$ = Nilai *error* sumbu X sebelumnya
- $last_e_y$ = Nilai *error* sumbu Y sebelumnya
- T_s = *Time Sampling*

Posisi servo luaran dari *PID Controller* ini kemudian akan dikirimkan ke *Servo Controller SD21* melalui jalur I^2C . *Servo Controller SD21* tersebut kemudian akan memposisikan sudut servo sesuai dengan hasil luaran *PID Controller* sehingga robot kembali ke posisi yang paling stabil.

3. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian

Dengan mengimplementasikan sistem kontrol keseimbangan ini pada robot *humanoid* Joko Klana, diharapkan kestabilan robot Joko Klana ini menjadi lebih baik.

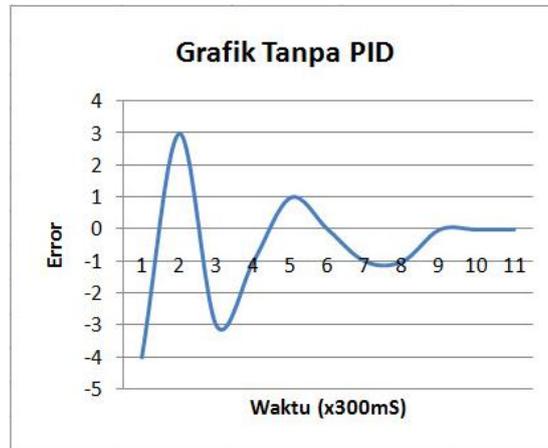


Gambar 4. Robot *Humanoid* Joko Klana

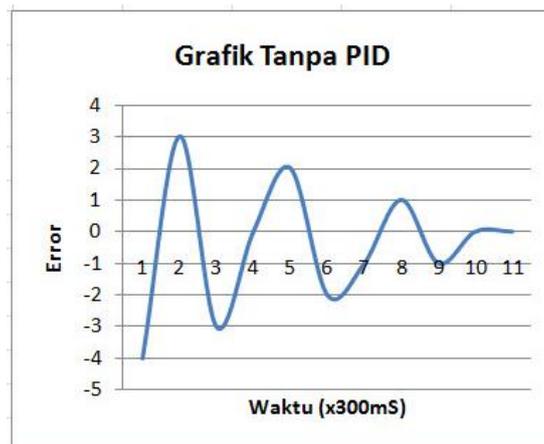
Pengujian kontrol keseimbangan ini dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pengujian pengontrol pada sumbu X dan tahap kedua adalah pengujian pengontrol pada sumbu Y. Pengujian sistem kontrol keseimbangan pada sumbu X dilakukan dengan cara memiringkan badan robot ke belakang dengan sudut 15° dan dilepaskan. Nilai *error* yang terbaca selama robot beresilasi hingga kembali stabil dikirimkan ke komputer dengan menggunakan *USB to Serial TTL Converter* dan ditampilkan pada program *Hyperterminal* komputer. Pengiriman nilai *error* dilakukan setiap 300mS sekali (*Time Sampling* = 300mS). Data kemudian dimasukkan ke program *Microsoft Excel 2007* untuk diolah dan dibuat grafiknya. Selanjutnya, pengujian pada

sumbu Y dilakukan dengan cara memiringkan robot ke kanan dengan sudut 15° dan dilepaskan. Metode yang digunakan untuk pengambilan data pengujian pada sumbu Y sama persis dengan metode yang digunakan pada pengujian di sumbu X.

- Uji Coba Tanpa Pengontrol

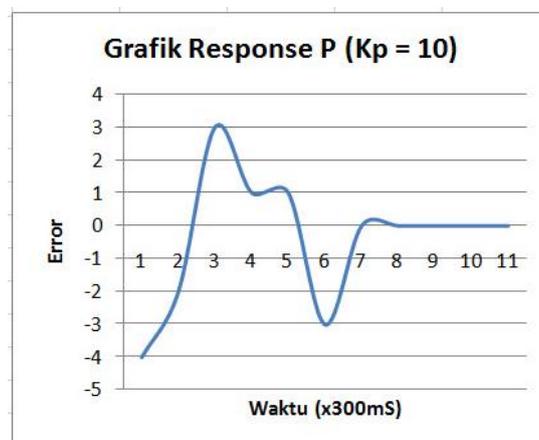


Gambar 5. Respon keseimbangan robot pada sumbu X tanpa pengontrol keseimbangan

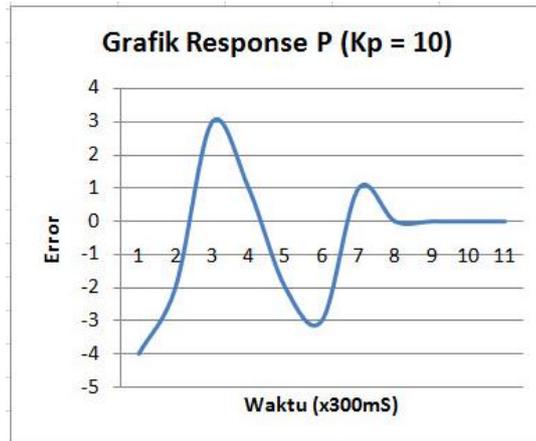


Gambar 6. Respon keseimbangan robot pada sumbu Y tanpa pengontrol keseimbangan

- Uji Coba Pengontrol Jenis P

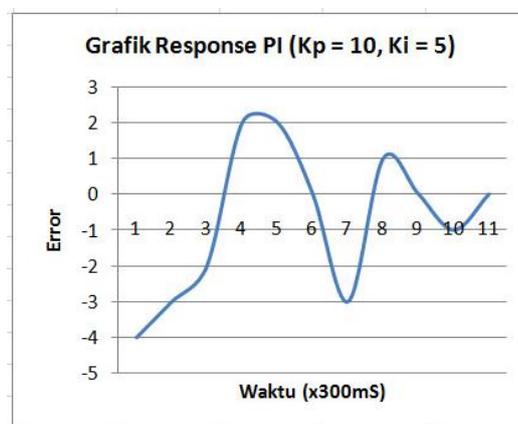


Gambar 7. Respon keseimbangan robot pada sumbu X dengan nilai $Kp_x = 10$

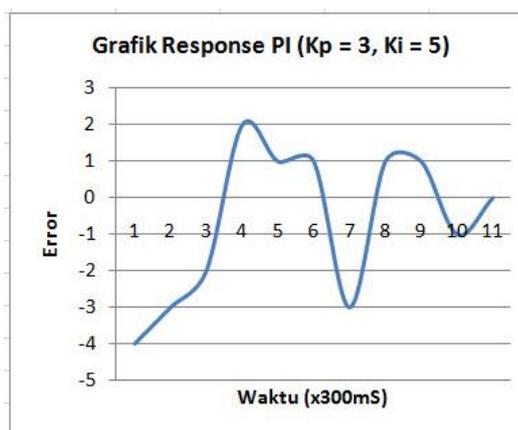


Gambar 8. Respon keseimbangan robot pada sumbu Y dengan nilai $K_{p_y} = 10$

- Uji Coba Pengontrol Jenis PI

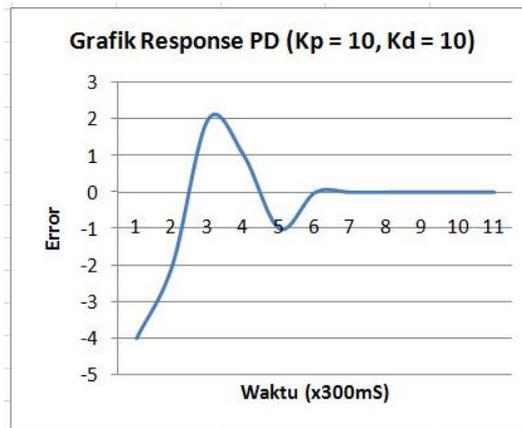


Gambar 9. Respon keseimbangan robot pada sumbu X dengan nilai $K_{p_x} = 10$, $K_{i_x} = 5$

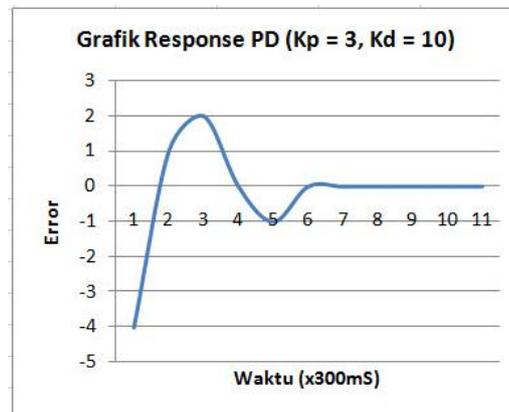


Gambar 10. Respon keseimbangan robot pada sumbu Y dengan nilai $K_{p_y} = 3$, $K_{i_y} = 5$

- Uji Coba Pengontrol Jenis PD

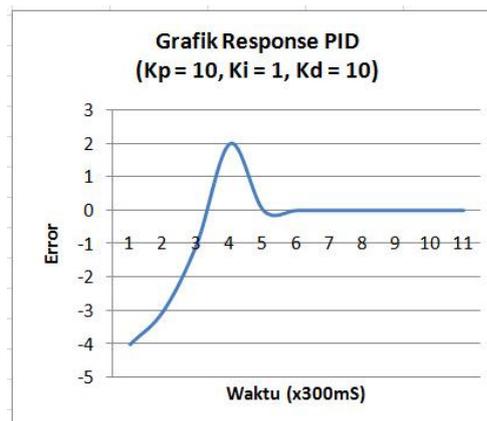


Gambar 11. Respon keseimbangan robot pada sumbu X dengan nilai $K_{p_x} = 10$, $K_{d_x} = 10$

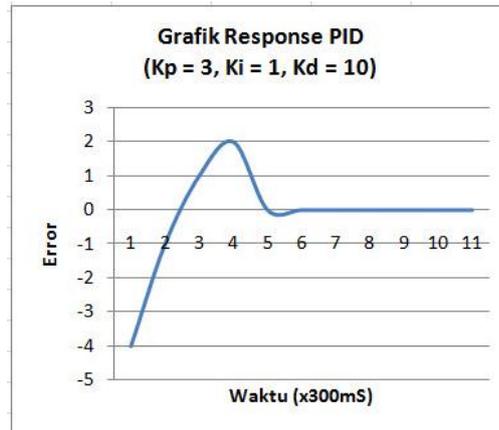


Gambar 12. Respon keseimbangan robot pada sumbu Y dengan nilai $K_{p_y} = 3$, $K_{d_y} = 10$

- Uji Coba Pengontrol Jenis PID



Gambar 13. Respon keseimbangan robot pada sumbu X dengan nilai $K_{p_x} = 10$, $K_{i_x} = 1$, $K_{d_x} = 10$



Gambar 14. Respon keseimbangan robot pada sumbu Y dengan nilai $Kp_y = 3$, $Ki_y = 1$, $Kd_y = 10$

4.2. Pembahasan

Sistem keseimbangan berbasis pengontrol PID yang dibuat ini baru diimplementasikan untuk menjaga keseimbangan robot dalam posisi diam (*static balance*). Ketika sistem ini belum diimplementasikan, maka yang berperan dalam menjaga keseimbangan robot adalah hanya sistem mekanik dari robot. Kemudian setelah sistem ini diimplementasikan, maka yang berperan dalam menjaga keseimbangan robot ini adalah sistem mekanik dan koreksi posisi sudut servo pada sistem kaki dari robot tersebut. Pengimplementasian sistem keseimbangan ini pada saat robot bergerak / berjalan (*dynamic balance*) masih dalam proses penelitian.

Parameter input yang diolah oleh sistem ini adalah posisi kemiringan dari robot terhadap sumbu X dan sumbu Y. Nilai kemiringan yang terbaca oleh sensor Akselerometer ADXL202 akan dibandingkan dengan nilai referensi yang telah ditentukan sebelumnya melalui proses kalibrasi dan dihitung selisihnya (*error*). Selisih nilai atau *error* ini selanjutnya akan diolah oleh pengontrol PID yang akan memposisikan servo – servo tertentu pada sistem kaki robot untuk mempertahankan kestabilan robot.

Pengujian yang pertama adalah pengujian tanpa menggunakan pengontrol keseimbangan. Data yang diperoleh dari pengujian inilah yang akan digunakan sebagai pembanding terhadap data pengujian setelah menggunakan kontrol keseimbangan. Dengan demikian dapat diketahui tingkat efektifitas sistem yang dikerjakan. Hasil pengujian tanpa sistem keseimbangan pada sumbu X ditampilkan pada Gambar 5 dan pada sumbu Y pada Gambar 6. Dari pengujian tersebut dapat dilihat bahwa robot membutuhkan waktu yang relatif lama untuk kembali mencapai posisi stabil setelah menerima gangguan dari luar ($\pm 3000\text{mS}$ untuk sumbu X dan $\pm 3300\text{mS}$ untuk sumbu Y).

Pengujian yang kedua adalah pengujian dengan menggunakan pengontrol jenis P (nilai $Kp_x = 10$, $Kp_y = 10$). Pada pengujian ini komponen kontrol yang digunakan hanya komponen Proporsional saja. Penggunaan pengontrol jenis ini pada robot sudah menunjukkan sedikit perubahan terhadap respon keseimbangan robot terhadap gangguan dari luar baik pada sumbu X maupun sumbu Y. Pada pengujian ini didapatkan hasil respon keseimbangan robot sudah lebih baik apabila dibandingkan dengan respon keseimbangan ketika belum menggunakan sistem kontrol keseimbangan ($\pm 2400\text{mS}$ untuk sumbu X dan $\pm 2700\text{mS}$ untuk sumbu Y). Data pengujian dengan pengontrol jenis P ditunjukkan pada Gambar 7 untuk sumbu X dan Gambar 8 untuk sumbu Y.

Pengujian yang ketiga adalah pengujian dengan menggunakan pengontrol jenis PI. Pengontrol jenis PI menggunakan komponen kontrol proporsional dan integral ($Kp_x = 10$, $Ki_x = 5$, $Kp_y = 3$, $Ki_y = 5$). Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh sesuai dengan Gambar 9 untuk sumbu X dan Gambar 10 untuk sumbu Y, dapat dilihat bahwa penggunaan pengontrol jenis PI kurang sesuai diterapkan pada sistem ini. Ketika pengontrol jenis PI ini

diimplementasikan, gerakan robot menjadi tidak teratur dan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai titik stabil apabila dibandingkan dengan pengujian ketika tidak menggunakan sistem kontrol.

Pengujian yang keempat adalah pengujian dengan menggunakan pengontrol jenis PD. Pengontrol jenis PD ini menggunakan komponen proporsional dan derivatif dalam melakukan aksi kontrolnya ($Kp_x = 10$, $Kd_x = 10$, $Kp_y = 3$, $Kd_y = 10$). Uji coba menggunakan pengontrol jenis PD ini memberikan hasil yang memuaskan. Robot Joko Klana hanya memerlukan waktu kurang lebih 1,8 detik pada sumbu X dan 2,1 detik pada sumbu Y dan hanya mengalami dua kali simpangan untuk kembali mencapai posisi stabil. Hasil pengujian pengontrol jenis PD ditunjukkan pada Gambar 11 untuk sumbu X dan 12 untuk sumbu Y.

Pengujian yang kelima adalah pengujian dengan menggunakan pengontrol jenis PID. Pengontrol jenis PID adalah pengontrol yang paling kompleks apabila dibandingkan dengan pengontrol jenis P, PI, dan PD karena pengontrol ini menggunakan semua komponen pengontrol (proporsional, integral, dan derivatif) dalam melakukan aksi kontrolnya ($Kp_x = 10$, $Ki_x = 1$, $Kd_x = 10$, $Kp_y = 3$, $Ki_y = 1$, $Kd_y = 10$). Pada uji coba pengontrol jenis PD sudah didapatkan hasil yang memuaskan, akan tetapi pada pengontrol jenis PD masih terdapat satu simpangan kecil yang masih bisa dihilangkan. Untuk menghilangkan simpangan tersebut, maka ditambahkan komponen Integral pada sistem dengan nilai *gain* yang relatif kecil ($Ki_x = 1$, $Ki_y = 1$). Hasil pengujian penambahan komponen integral ini (Gambar 13 untuk sumbu X dan Gambar 14 untuk sumbu Y) ternyata benar mampu menghilangkan simpangan kecil yang sebelumnya muncul pada pengontrol jenis PD yang diujikan sebelumnya. Waktu yang dibutuhkan robot Joko Klana untuk kembali ke posisi stabil juga meningkat menjadi hanya 1,5 detik untuk sumbu X dan 1,8 detik untuk sumbu Y.

4. KESIMPULAN

1. Sistem kontrol keseimbangan robot Joko Klana menggunakan pengontrol PID telah selesai dibuat
2. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengontrol keseimbangan robot humanoid adalah menggunakan metode memindahkan titik berat robot dengan pengontrol PID untuk menentukan seberapa jauh perpindahan titik berat yang dibutuhkan.
3. Nilai gain (konstanta pengali) terbaik yang didapatkan untuk sistem keseimbangan pada sumbu X adalah : $Kp_x = 10$, $Ki_x = 1$, $Kd_x = 10$,
4. Nilai gain (konstanta pengali) terbaik yang didapatkan untuk sistem keseimbangan pada sumbu Y adalah : $Kp_y = 3$, $Ki_y = 1$, $Kd_y = 10$
5. Nilai Time Sampling (waktu pencuplikan data) yang paling optimal adalah 300mS

5. SARAN

1. Masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menyempurnakan sistem kontrol keseimbangan robot Joko Klana dengan pengontrol PID ini, terutama dalam hal penambahan mode sinkronisasi antara sistem kontrol keseimbangan pada sumbu X dan sumbu Y
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada sistem ini untuk dapat diimplementasikan dalam menjaga keseimbangan robot pada saat robot bergerak (*dynamic balance*)
3. Penggunaan sensor akselerometer yang lebih sensitif dengan data yang stabil akan lebih memaksimalkan performa dari sistem ini
4. Ke-*rigid*-an (kekakuan) sistem mekanik dari robot Joko Klana perlu ditingkatkan agar sistem ini mampu bekerja lebih optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan segala hormat penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Universitas Gadjah Mada yang telah membiayai seluruh biaya pembuatan Robot Joko Klana
2. Teman – teman tim KRSI UGM 2011 yang telah bekerja keras dalam membuat robot Joko Klana ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maulana, I. 2010. *Robot Humanoid dan Kecerdasan Buatan*. Bandung
- [2] Susilo, A. 2003. *Robot Humanoid*. Jurusan Teknik Komputer, Fakultas Teknik, STIMIK-AKI, Semarang
- [3] Low, T.D. 2003. *Active Balance For A Humanoid Robot*. School Of Computer System Engineering, The University Of Queensland, Queensland
- [4] Peacock, F. 2010. *The PID Tunning Blueprint*. Brighton